منشا هالیت با معرفی کانی‌های گلوبریت و ساسولیت در گنبد نمکی لارستان، (جنوب ایران)

علی نخبه‌الفقهائی[۱*]، نیما نظافتی[۲]، منصور قربانی[۳] و بیژن اعتمادی[۴]

۱ و ۲ گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۴ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز، تهران، ایران

نویسنده مسئول: Nokhbe_ali@yahoo.com

دریافت: ۹۵/۵/۲۸ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۸

چکیده

گنبدهای نمکی یکی از مهم‌ترین سیماهای کمربند چین‌خورده زاگرس در جنوب ایران هستند. در این پژوهش گنبدهای نمکی دهکویه، کرمستج در منطقه لارستان واقع در جنوب ایران به تفکیک رنگ مطالعه شدند. در مطالعات کانی‌شناسی دو کانی گلوبریت $Na_2Ca(SO_4)_2$ و ساسولیت $B(OH)3$ که شاخص دودخان‌های امروزی در نقاط مختلف دنیا می‌باشند برای نخستین بار در گنبد دهکویه به همراه نمک‌های سازند هرمز شناسایی شدند. هم‌چنین در میان همه عناصر آهن، بعلت تاثیر محلول‌های گرمابی سرشار از آهن بیش‌ترین تاثیر را در تغییر رنگ نمک داشته است. در نمک‌های همراه کانی‌های ساسولیت و گلوبریت نیز سیالات با دمایی (گستره دمایی ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد) شناسایی شدند. دودخان‌های کف دریا در ساخت نمک‌های هرمز در زمان پرکامبرین نقش موثری داشته‌اند. به احتمال قوی این دودخان‌ها تامین‌کننده یون‌های مورد نیاز ساخت نمک‌ها بوده و پیدایش حجم زیاد نمک‌های سازند هرمز در زمان نسبتا کوتاه را توجیه می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: ساسولیت، گلوبریت، گرمابی، دودخان،گنبد نمکی

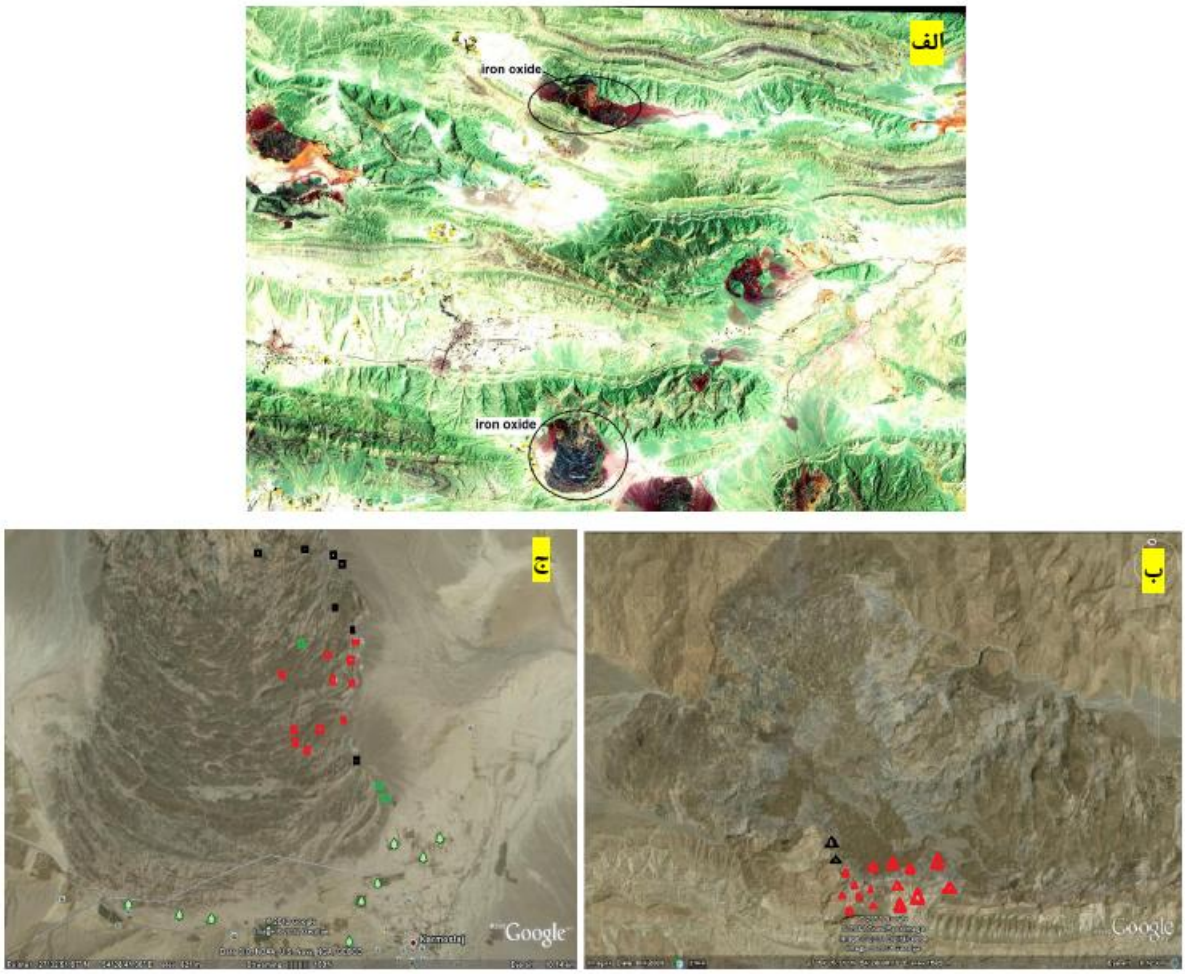
مقدمه

تاکنون پژوهش جامعی از دید اقتصادی، زمین‌شناسی و منشا تبخیری‌های موجود در گنبدها به ویژه نمک‌ها، هم‌چنین ژئوشیمی و چگونگی پراکندگی و تمرکز عناصر با بهره‌گیری از روش‌های نوین در گنبدهای نمکی منطقه لارستان در جنوب ایران با بیش از ۳۰ گنبد نمکی انجام نشده است. مدل‌های زمین‌شناسی و زایشی برای پیدایش رسوبات نمکی، یعنی "فرآیند تبخیر"، را نمی‌توان به درستی در نهشته‌های بسیار بزرگ مانند گنبدهای نمکی توضیح داد. تقارن زمانی و مکانی نهشته‌های نمکی با ریفتی شدن و ماگماتیسم قلیایی در حال حاضر به طور گسترده‌ای مطرح شده است [برای مثال ۱۱، ۱۳،۱۶]. برای نمونه امروزه از پیدایش نمک‌های وابسته به فعالیت‌های ماگمایی، می‌توان به آتشفشان الدونیولنگای در شمال تانزانیا در دره ریفت بزرگ اشاره کرد. گدازه سیاه ناتروکربنات $Na_2Ca(CO_3)_2$ غیر معمول از این آتشفشان در دمای (~۵۱۰°C) و به مقدار زیادی از گدازه سیلیکاتی فوران می‌کند [۱۱]. نوع نمک و سولفات ساخته شده به طور مستقیم مربوط به ترکیب شیمیایی مواد قرار منتشر شده و نسبت عناصر مختلف آن است و طول مدت و میزان انباشت تبخیری‌ها نیز تابعی از طول مدت و میزان بیرون‌ریختگی یون‌ها می‌باشد [۱۱]. با توجه به پراکندگی گسترده گنبدهای نمکی به ویژه در جنوب ایران که دارای مقادیر بسیار و بزرگی از انواع تبخیری‌ها به ویژه نمک‌ها و اهمیت پرداختن به پیدایش آن‌ها که بخش زیادی از تاریخچه پرکامبرین ایران را شامل می‌شود اهمیت این پژوهش بارزتر می‌گردد. در این پژوهش کوشش شده با کمک برداشت‌های میدانی، بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمی بر روی نمک گنبدهای کرمستج و دهکویه و با تاکید بر مطالعه سیالات درگیر، منشا این نهشته‌ها بررسی شود.

زمین‌شناسی

گنبد نمکی دهکویه که در فاصله ۳۵ کیلومتری خاور شهرستان لارستان و در مسیر جاده لار به جهرم قرار

دارد (شکل۱)، در یال جنوبی تاقدیس نمک دهکویه رخنمون یافته است و نزدیک ۲۵ کیلومتر مربع وسعت دارد. واحدهای سنگ‌شناسی اصلی این گنبد عبارتند از نمک، ژیپس، انیدریت، و پس از آن اکسیدهای آهن، دولومیت، مارن و سنگ‌آهک نیز دارای اهمیت هستند [۷] (شکل ۲ ب). گنبد کرمستج در میان طول‌های جغرافیایی ۳۷ ˚۲۷ شمالی و ۲۸ ˚۵۴ خاوری در فاصله هوایی ۲۷/۵ کیلومتری جنوب خاور لار قرار دارد. در این گنبد قطعات پراکنده و فراوان کوارتزیت، دیاباز، توف‌های ریولیتی، شیل‌های رنگین قرمز و سبز تا کرم، ماسه‌سنگ، سیلتستون، دولومیت‌های تیره همراه با نهشته‌های ژیپس و انیدریت و هم‌چنین اکسیدهای آهن دیده می‌شود. در هر سه گنبد، کائی‌سازی گسترده هماتیت به شکل عدسی و توده‌های متعدد مشهود بوده و هم‌چنین فعالیت‌های هیدروترمال منجر به ساخت لایه‌ها و رگه‌هایی از بلورهای کوارتز در درز و شکاف‌ها شده است. سنگ‌های یادشده همراه با ستون‌های نمکی نشان‌دهنده بخش‌های H1، H2 و H3 از سازند هرمز می‌باشد [۷] (شکل ۲ الف).



شکل ۱ . الف) تصویر ۱/۱۰۰۰۰۰ ماهواره استر منطقه لارستان و گنبدهای نمکی آن .(گنبد نمکی‌های دهکویه و کرمستج، بیضی‌های مشخص شده). این تصویر توسط تکنیک OIF پارزسازی شده است. رنگ بنفش در این گنبدها نشان دهنده نمک‌ها و رنگ قرمز آهن و دولومیت دگرسان شده آهن‌دار را مشخص می‌کنند. رنگ سبز هم سنگ‌آهک سازندهای منطقه را مشخص می‌کنند [۵]. ب) جایگاه نسبی نمونه‌برداری‌های نمک (مثلث قرمز رنگ) و دولومیت (مثلث تیره رنگ) در گنبد نمکی دهکویه در تصویر ماهواره‌ای. ج) جایگاه نسبی نمونه‌برداری‌های سنگ آهن (مربع قرمز رنگ) و آذرین (مربع سبز رنگ) و نمک (مربع تیره رنگ) در گنبد نمکی کرمستج در شکل ماهواره‌ای

شکل ۲ .الف) ستون‌های نمکی در بخش خاوری گنبد نمکی کرموستج، ب) دورنمایی از نهشته‌های نمکی گنبد نمکی دهکویه. نگاه به خاور

آماده‌سازی نمونه‌ها و روش پژوهش

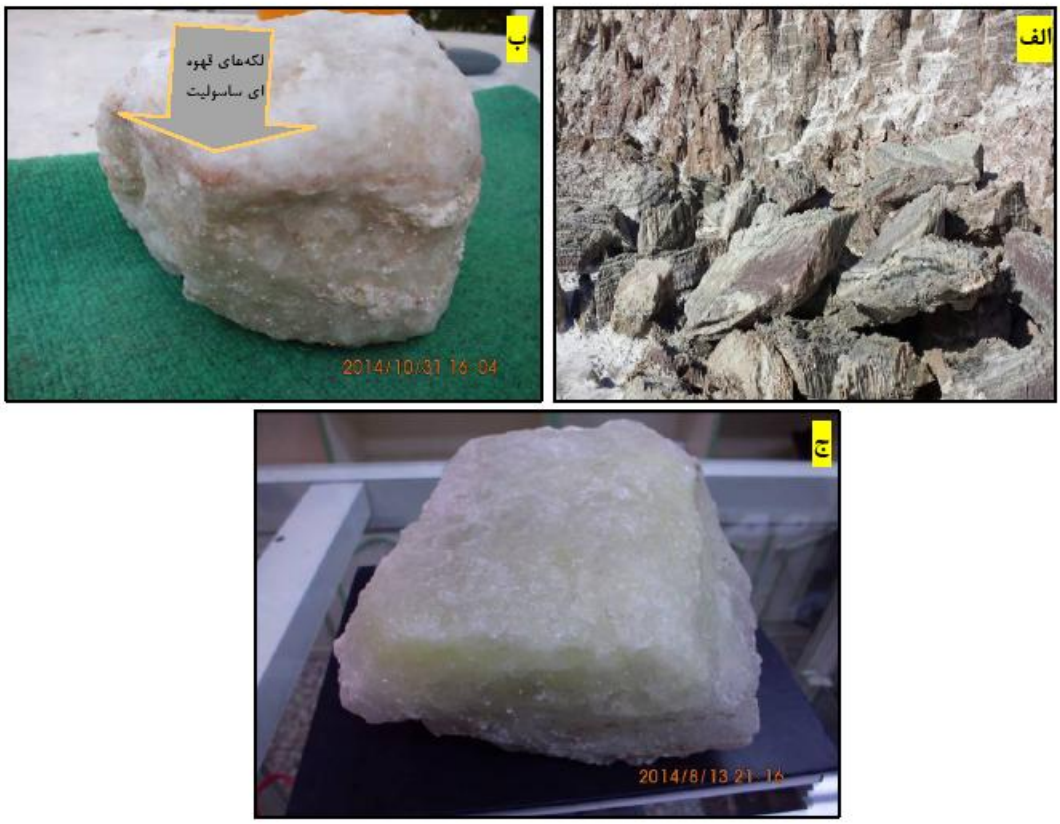
۲۰ نمونه از نمک‌های موجود در گنبدهای مورد بررسی توسط روش‌های XRD، XRF و ICP- MS در آزمایشگاه شرکت پینالود و شرکت زرآزما و در آزمایشگاه شرکت Bureau Veritas کشور استرالیا مورد واکاوی قرار گرفتند. پس از واکاوی نمونه‌ها و مشخص شدن ماهیت آن‌ها، به منظور شناسایی شوری و دمای همگن شدن بر روی دو نمونه از کانی هالیت گنبد دهکویه و با توجه به اثبات حضور کانی ساسولیت و گلوبریت، مطالعات سیال درگیر و اندازه‌گیری‌های میکروترمومتری بر روی ۶۰ میانبار سیال در شرکت زمین‌ریز کاوان و توسط دستگاه Linkam THMS600 با پمپ نیتروژن TM94 انجام شده است. سرانجام با استفاده از نرم‌افزار SPSS و EXCEL تحلیل‌های آماری انجام شد (به سبب پراکندگی داده‌ها از ضریب همبستگی اسپیرمن بهره‌گیری شد).

کانی‌شناسی

نمک‌های موجود در گنبد نمکی دهکویه و کرمستج برای نخستین بار جداگانه بر پایه رنگ جدا و مورد واکاوی قرار گرفتند. واکاوی و جداسازی نمک‌ها بر پایه رنگ منجر به شناسایی و جدایش بهتر فازهای کانیایی، پی بردن به محیط ساخت، ایجاد ارتباط بهتر با داده‌های ژئوشیمیایی و هم‌چنین شناسایی احتمالی عناصر مزاحم و یا اقتصادی در این نمک‌ها شده است. بر این پایه، کانی هالیت به عنوان کانی اصلی در تمام نمونه‌ها و کانی‌های ژیپس و انیدریت، دولومیت، گلوبریت، آلبیت، کوارتز، مگنزیت، هالیت پوتاسین و ساسولیت به عنوان کانی فرعی در نمونه‌های مختلف حضور دارند. با مشاهده یافته‌های بالا مشخص می‌شود که سه کانی گلوبریت با فرمول $Na_2Ca(SO4)_2$ در نمونه نمک زرد گنبد دهکویه (شکل‌های ۳ تا ۷)، ساسولیت با فرمول $Br(OH)_3$ در نمک قهوه‌ای گنبد دهکویه (شکل ۳ ج و ۵) و هالیت پوتاسین با فرمول $K_{0.4}Na_{0.6}Cl$ (شکل ۶)، در نمونه نمک نارنجی زرد دهکویه جالب توجه است. دو کانی نخست به ویژه کانی ساسولیت، نخستین بار در گنبدهای نمکی ایران گزارش می‌شود. در نمونه نمک سیاه رنگ گنبد دهکویه دارای دولومیت، رنگ تیره نمک احتمالا ناشی از حضور مقادیری مواد آلی یا اورانیوم می‌باشد [۳]. مهم‌ترین نهشته‌های بورات جهان در محیط‌های فعال تکتونیکی کششی (ریفتی) یافت می‌شوند و احتمالا این شرایط در گذشته حوضه رسوبی هرمز نیز حکمفرما بوده است.

حضور کانی ساسولیت به همراه گلوبریت، به عنوان یک شاخص مهم در محیط‌های تصعید پیرامون تالاب‌های چشمه‌های داغ، دودخان‌های آتشفشانی (فومارل‌ها) کف دریا و چشمه‌های آب گرم در مناطق مهم آتشفشانی کنونی مانند پیرامون توسکانی، تالاب ساسو، در نزدیکی ناپل ایتالیا، هم‌چنین نهشته بورات کرامر، در دره مرگ و آب گرم پارک ملی یلوستون در ایالات متحده آمریکا [۱۵]، احتمال وجود شرایط مشابه در زمان پیدایش نمک‌های سازند هرمز در زمان پرکامبرین را تقویت می‌کند. این مطلب دست کم خاستگاه آتشفشانی یون‌های تامین کننده کانی‌های نمک در حوضه‌های رسوبی محیط پیدایش نمک حداقل در گنبد دهکویه را تایید می‌کند [۱۹]. تناوب در تخلیه دوره‌ای یون‌های مختلف بوسیله فومارل‌ها، به ویژه کلرید و سولفات باعث تغییرات منطقه‌ای در جنس و نوع تبخیری‌ها در گنبدهای نمکی جنوب شده است. این یون‌ها به ویژه در

گودی‌های کف دریا انباشته شده و به مرور باعث ساخت نهشته‌های تمکی- سولفاتی شده‌اند [۱۲]. هم‌چنین تمایل قوی ترکیب بور با اکسیژن و ساخت کانی ساسولیت، نشان از فوگاسیته بالای اکسیژن در محیط ساخت دارد [۱۳]. این امر با توجه به حضور تومان مارن‌های قرمز و هماتیت‌های همراه تمک در این گنبدها نیز که مختص محیط‌های اکسیدی نیز هست توجیه پذیر است. شواهد یادشده به همراه حضور و فراوانی سنگ‌های آذرین به همراه سنگ‌های تبخیری‌ها موجود در این گنبدها، پراکندگی و اندازه متفاوت گنبدها، نوع و میزان تبخیری‌ها یا چیرگی تمک بر سولفات‌ها و بالعکس چیرگی سولفات بر تمک (گنبد پاسخند فاقد تمک بوده و بنابراین بهتر است آن را گنبد گچی نامید). در گنبدهای مورد بررسی، نبود فسیل در تبخیری‌ها به همراه مطالعات سیال درگیر می‌تواند به عنوان شواهد دیگری از منشا ماگمایی تمک در نظر گرفته شود. گو اینکه در پژوهش‌های دیگری اشاره به سازوکار و احتمال خاستگاه ماگمایی تمک شده است. ولی شناسایی کانی ساسولیت و گلوبریت می‌تواند سرآغازی برای پژوهش‌های جامع‌تر باشد.



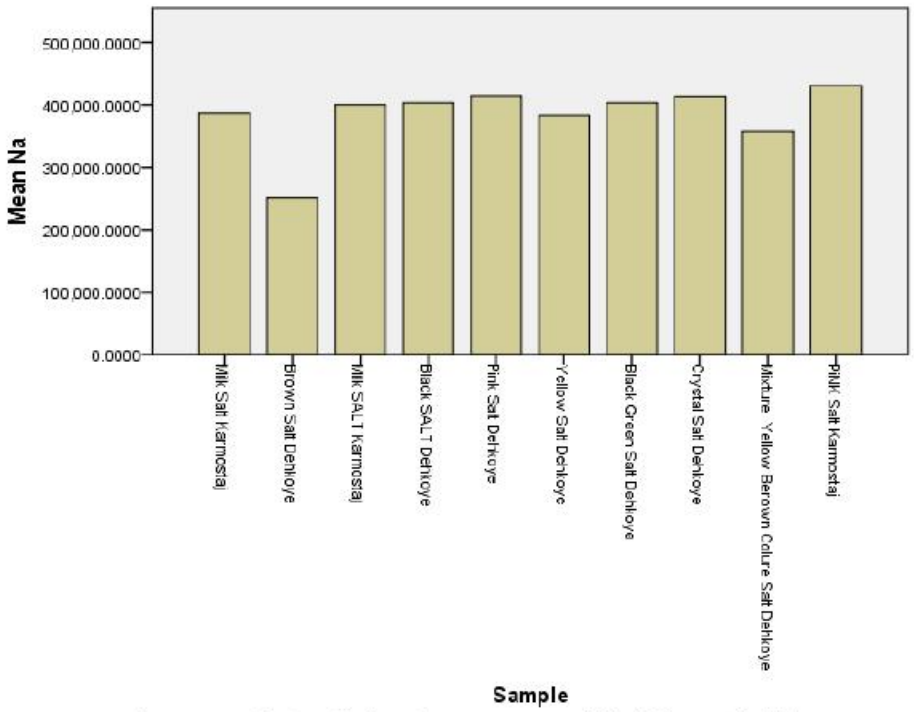
شکل ۳. الف)نهشته‌های تمک رنگی در گنبد تمکی دهکویه (نگاه به شمال‌باختر)، ب) نمایی از هالیت ساسولیت‌دار، ج) نمایی از هالیت گلوبریت‌دار

ژئوشیمی

برپایه جدول مقادیر آماری (جدول ۱) نتایج بدست آمده میانگین غلظت عناصر مهم در هالیت بر حسب پی‌پی‌ام برای سدیم ۳۸۴۲۱۸، کلسیم ۸۲۷۷، منیزیم ۱۹۱۱، پتاسیم ۷۵۶/۸، گوگرد ۷۹۷۷، استرانسیم ۲۵۴، اورانیوم ۰/۶، مس ۲، آهن ۵۱۳، لیتیم ۲/۹، باریم ۸۶، آلومینیوم ۴۰۰/۹ و توریم ۰/۰۶۹ است.

سدیم مهم‌ترین عنصر موجود می‌باشد که در قالب کانی هالیت جای می‌گیرد. بیشینه مقدار آن با ۴۳۰۰۰۰ ppm مربوط به نمونه تمک صورتی کرمستج و کمترین آن مربوط به نمونه تمک قهوه‌ای دهکویه یا هالیت ساسولیت‌دار با ۲۵۰۱۸۳ ppm می‌باشد (شکل ۴). توضیح اینکه در آزمایش کانی‌شناسی ساسولیت بعنوان کانی فرعی در نمونه هالیت دارای لکه‌های قهوه‌ای رنگ شناسایی شد که به حضور مقادیر جزیی کانی

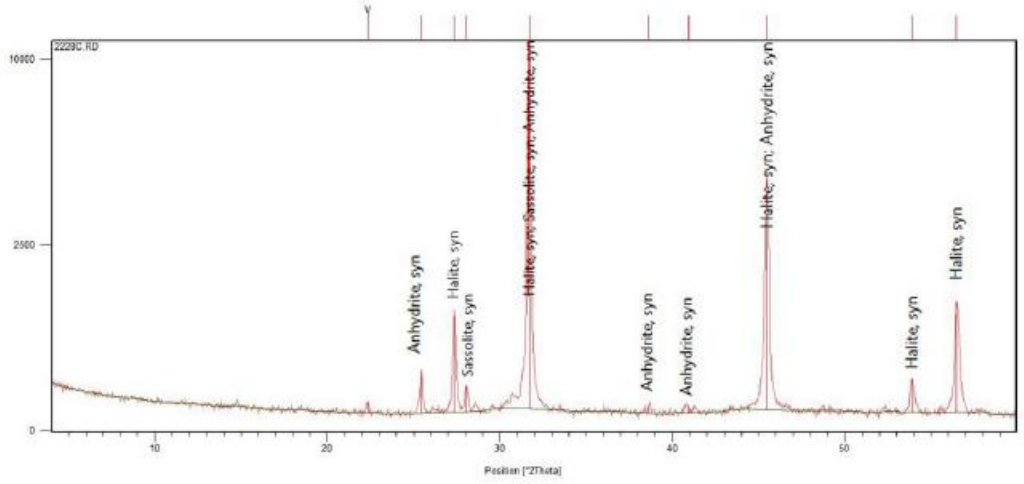
ساسولیت با رنگ تیپیک خود اشاره دارد. این ویژگی احتمالا ناشی از اختلاط و همزمانی دو کانی در زمان ساخت با توجه به خاستگاه دودخانی به ویژه ساسولیت می‌باشد. با توجه به یافته‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، مقدار آهن تا ۱۶۲۰ ppm در نمونه های هالیت تیره و سبز تیره است. با توجه به گستردگی دگرسانی حاصل از محلول‌های گرمابی سرشار از آهن و سیلیس که بر روی اکثر سنگ‌شناسی موجود در گنبدهای نمکی مورد بررسی اثر کرده، احتمالا بالا رفتن مقدار آهن حاصل همین محلول‌های گرمابی آهن‌دار است. که علاوه بر بالا بردن محتوای آهن هالیت‌ها باعث تیرگی رنگ هالیت‌ها شده است. حضور کوارتزهای به ویژه از نوع تیپیک بلوری نیز نشان دهنده تاثیر همین فعالیت‌های گرمابی ثانویه است [۵]. بر پایه آزمایش XRD روی نمونه N8 (نمونه هالیت نارنجی رنگ) در گنبد دهکویه حضور کانی پتاسیم‌دار هالیت پتاسیم‌دار، به اثبات رسید. فراوانی پتاسیم در نمونه هالیت دارای کانی یادشده در آزمایش ژئوشیمی نیز به اثبات رسید. میزان بالای پتاسیم در تجزیه شورابه دهکویه با ۱۴۴۱/۲۸ ppm نیز این مطلب را تایید می‌کند. در صورت بررسی بیش‌تر ممکن است نشان‌دهنده ذخیره مناسبی از پتاسیم باشد. میزان پتاسیم در نمونه‌های گنبد کرمستج پایین و بدون ارزش اقتصادی می‌باشد. به نظر می‌رسد آهن بیش‌ترین تاثیر در تغییر رنگ نمک را در بین عناصر گذاشته است. بر پایه نمودار فراوانی کلسیم، بیش‌تر نمونه‌ها حدودا یکسان می‌باشد و تنها در نمونه هالیت زرد قهوه‌ای دهکویه مقدار آن به ۳۲۸۰۰ ppm می‌رسد که ناشی از حضور مقدار بالای انیدریت یا کلسیت می‌باشد. مقدار عنصر اورانیوم در تمام نمونه‌ها بسیار پائین می‌باشد و بیشینه مقدار آن ۳/۷ ppm در نمونه نمک قهوه‌ای ساسولیت‌دار می‌باشد. بیشینه مقدار لیتیم ۷/۴ ppm در نمونه نمک قهوه‌ای-زرد دهکویه است که قطعا اقتصادی نخواهد بود و احتمالا به دلیل کمبود لیتیم در منشا می‌باشد. در نمونه‌های نمک سیاه دارای دولومیت و منیزیت، میزان Mg بسیار بالا است. در بررسی ژئوشیمی آب شورابه‌های گسلی حاصل از انحلال گنبد نمکی‌های کرمستج و دهکویه سرشار از عناصر Na^+ و Cl^- و Ca هستند. که با چیرگی عناصر یادشده در نمونه‌های سنگی این گنبدها نیز همخوانی دارند. بنابراین می‌توان گفت که شورابه‌های سازنده تبخیری‌های گنبد دهکویه شورابه های نوع کلریدی و قلیایی به حساب می‌آید [۲].



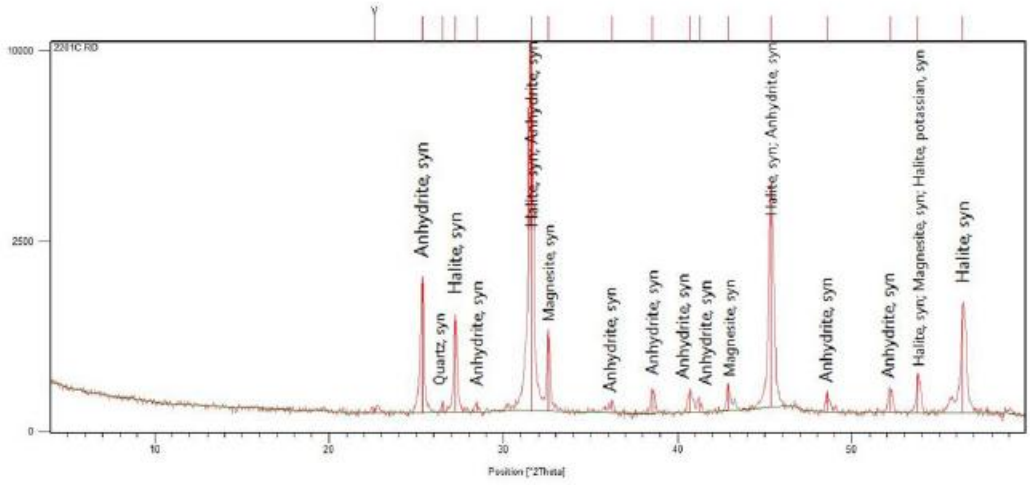
شکل ۴. هیستوگرام فراوانی سدیم در نمونه‌های نمک گنبدهای کرمستج و دهکویه

جدول ۱. ویژگی‌های نمونه‌برداری نمک‌ها و ژیپس‌ها و تفکیک روش تجزیه در گنبدهای مورد بررسی

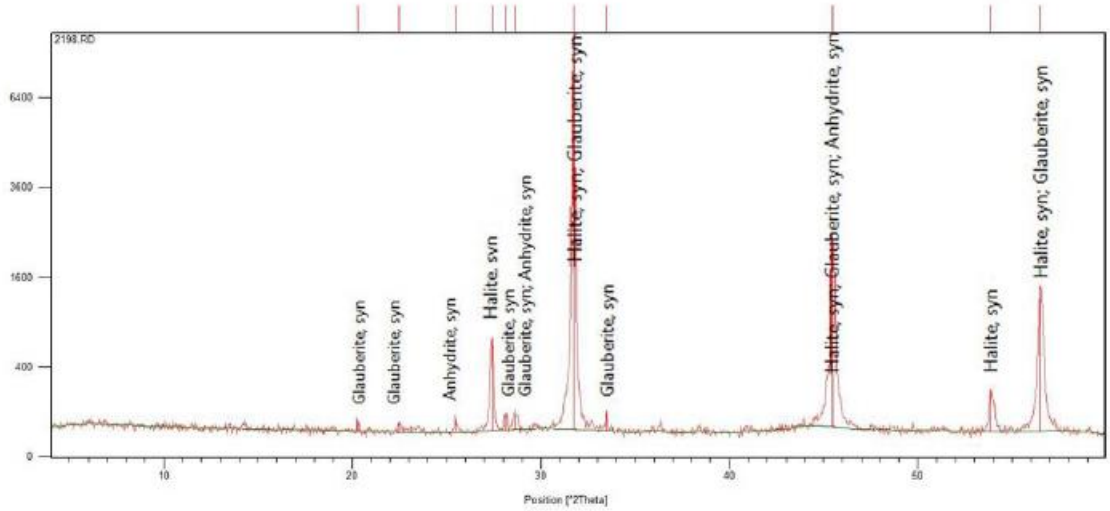
شماره نمونه	محل نمونه‌برداری	روش	روش واکاوی	توضیح (شرح نمونه)
N1	گنبد کرمستج	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک
N2	گنبد کرمستج	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک
N3	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک تیره
N4	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک صورتی
N5	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک زرد رنگ
N6	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک مشکی – سبز رنگ
N7	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک بلوری شفاف
N8	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD	نمک زرد رنگ و آهن‌دار
N9	گنبد کرمستج	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD و F.I	نمک صورتی
58 OR N10	گنبد دهکویه	کلوخه‌ای	ICP-MS و XRD و F.I	نمک قهوه‌ای رنگ



شکل ۵ . تجزیه کانی‌شناسی نمونه N10 نمک گنبد دهکویه. کانی اصلی هالیت و کانی‌های فرعی ساسولیت و انیدریت



شکل ۶. تجزیه کانی‌شناسی نمونه N5 نمک گنبد دهکویه. کانی اصلی هالیت و کانی‌های فرعی مگنزیت و هالیت پتاسیم‌دار



شکل ۷. تجزیه کانی‌شناسی نمونه N5 نمک گنبد دهکویه. کانی اصلی هالیت و کانی‌های فرعی گلوبریت و انیدریت

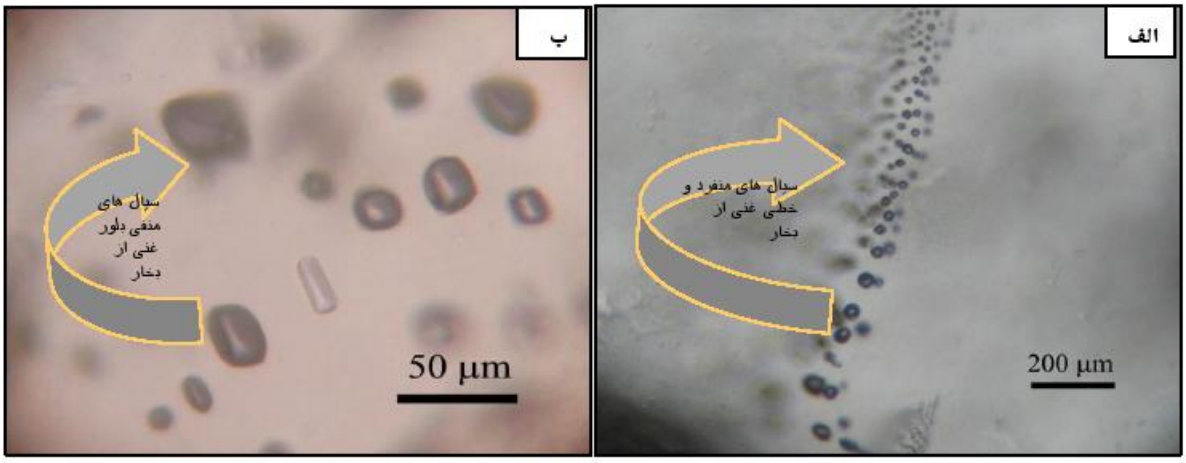
جدول ۲. نتایج مقادیر مهم آماری نمونه های هالیت در گنبدهای دهکویه و کرمستج

	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg	Na	S	Sr	U
N Valid	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Missing	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mean	400.9	8277.7	513.4	765.8	2.95	1911.1	384218.3	7977	254.1	0.69
Median	262	5858.5	423	409	2.55	850	401500	3990	46.8	0.15
Mode	31	1260	145	82	.75	206	403000	.3750	7.4	0.015
Std.Deviation	454.68	9125.25	417.28	1197.5	1.788	3472.7	51145.3	10259	567.9	.111
Variance	206731.4	83270093	174115.4	1433845	3.2	1205950	26158347712.3	105252336	32244	.013
Skewness	1.795	2.550	2.416	2.9	1.83	3.051		1.852	2.97	3.02
Std.Error of Skewness	.687	.687	.687	.687	.687	.687	.687	.687	.687	.687
Kurtosis	3.714	7.193	6.66	9.031	4.6	9.48	6.174	2.875	8.977	9.3
Std.Error of Kurtosis	1.334	1.334	1.334	1.334	1.334	1.334	1.334	1.334	1.334	1.334
Minimum	31	1260	145	82	.75	206	250183	.03750	7.4	.0150
Maximum	1510	32800	1620	4112	7.4	11700	430000	32000	1840	.3750
sum	4009	861.8	5134	7658	29.5	19111	3842183	79770	2541	.6050

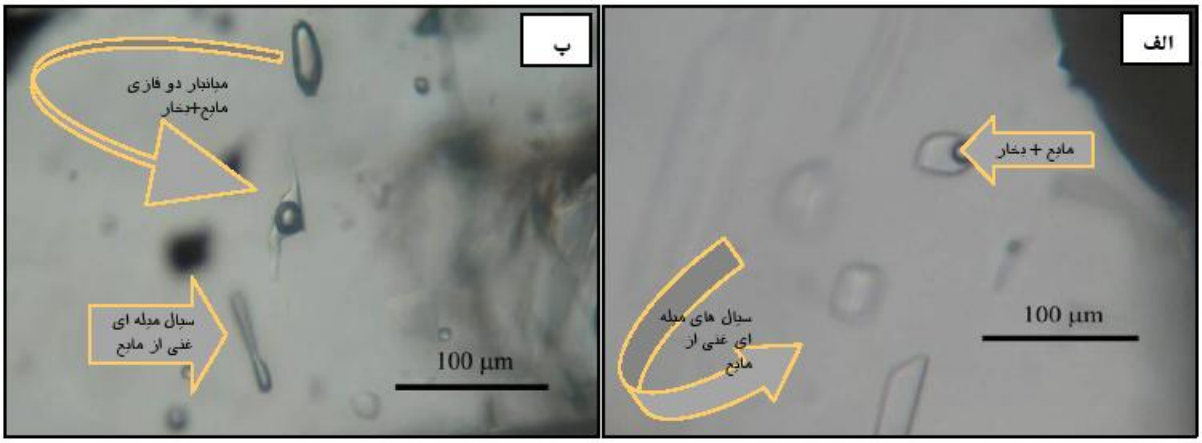
مطالعه سیالات درگیر

پس از نمونه‌برداری برای مطالعات میانبارهای سیال، ۴ بُرش دو بر صیقلی تهیه شد که پس از انجام پتروگرافی میانبارهای سیال بر روی آن‌ها، ۲ نمونه برای اندازه گیری‌های میکروترمومتری انتخاب شدند. گستره دمایی اندازه‌گیری دستگاه از ۱۹۶- تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. خطای اندازه‌گیری دستگاه در اندازه ± ۰/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (جدول ۳). انواع میانبارهای سیال در هالیت‌های مورد مطالعه شامل تک فازی مایع، تک فازی گازی، دو فازی سرشار از بخار می‌باشند. به سبب شناسایی ساسولیت و گلوبریت در هالیت‌های گنبد دهکویه، اندازه‌گیری میانبارهای سیال به سبب بررسی نوع و دمای این سیال‌ها در این دو نمونه متمرکز گردید. اندازه‌گیری‌ها در میان بارهای دارای کانی دختر هالیت بوده که در هالیت‌های همراه ساسولیت و گلوبریت دیده شده است. اندازه میانبارهای تک فازی مایع از ۱۰ تا ۳۰۰ میکرون تغییر می‌کند. اندازه میانبارهای تک فازی گازی از ۴۰ تا ۱۲۵ میکرون است و میانگین اندازه آن‌ها نزدیک ۱۰۰ میکرون می‌باشد. میانبارهای دو فازی سرشار از گاز از فراوانی کمتری نسبت به دیگر انواع میانبار در نمونه برخوردار می‌باشند و اندازه آن‌ها از ۵ تا ۱۲۰ میکرون متغیر است (شکل‌های ۸ و ۹ و جدول ۳). میانبارهای تک فازی مایع اغلب مستطیلی تصویر، میله‌ای و کشیده می‌باشند، در حالی که میانبارهای تک فازی

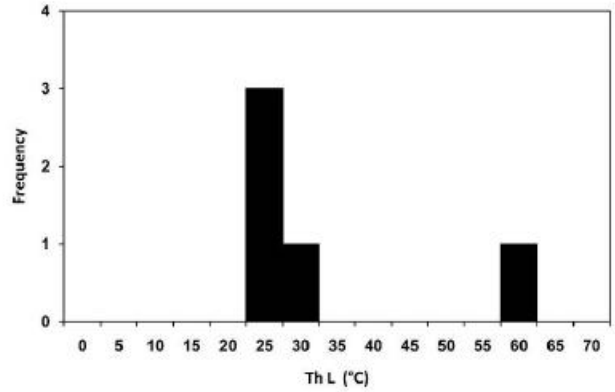
گازی بیش‌تر بیضوی و تصویر بلور منفی دارند. میانبارهای دو فازی سرشار از بخار بیشتر بیضوی شکل می‌باشند. داده‌های میکروترمومتری میانبارهای دو فازی در نمک در تفسیر نتایج کاربرد ندارند و تنها میانبارهای تک فازی مایع که در اثر فرایند سردکردن در آن‌ها حباب ظاهر می‌شود برای شناسایی دمای همگن شدن کاربرد دارند [۱۷و ۱۸]. در نمونه نمک همراه گلوبریت بر روی ۱۱ میانبار دو فازی مایع-بخار، دما سنجی انجام گردید که سه میانبار تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد همگن نشدند. دیگر میانبارها با ناپدیدشدن حباب همگن شدند و دماهای همگن شدن از ۲۹/۹ تا ۶۹/۱ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند که دو گستره از دماهای همگن شدن را نشان می‌دهند. یکی میانبارهایی که در گستره دمایی ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد همگن شده‌اند و گروه دیگر که در گستره دمایی ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد همگن شده‌اند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). در این پژوهش، دماسنجی بر روی یک میانبار دو فازی سرشار از بخار نیز انجام شد که این میانبارها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد همگن شدند. در نمونه نمک همراه ساسولیت میانبارهای تک فازی مایع و دو فازی سرشار از بخار برای بررسی‌های دماسنجی مناسب بودند. در این نمونه بر روی ۶ میانبار دو فازی مایع-بخار، دماسنجی انجام شد که یکی از میانبارها تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد همگن نگردید. بقیه دماهای همگن شدن از ۲۳/۷ تا ۵۷/۷ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند. در این نمونه بیشتر میانبارهای تک فازی مایع در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد همگن شدند و فقط یک میانبار در دمای ۵۷/۷ درجه سانتی‌گراد همگن گردید (شکل ۱۱).



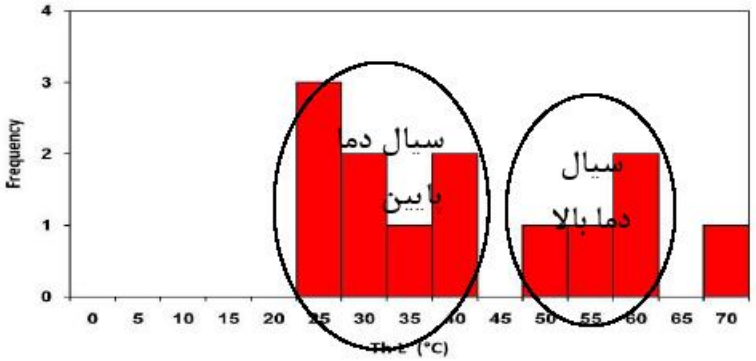
شکل ۸. تصاویر انواع میانبارهای سیال شناسایی شده در نمونه N10 هالیت دارای ساسولیت. الف) میانبارهای دو فازی سرشار از بخار با اشکال نامنظم. ب) میانبار تک فازی گازی منفرد منفی بلور



شکل ۹. انواع میانبارهای سیال شناسایی شده در نمونه N5. هالیت دارای گلوبربت گنبد دهکوبه الف) میانبار دو فازی سرشار از بخار منفرد. ب) میانبار دوفازی سرشار از بخار در کنار یک میانبار تک فازی گازی



شکل ۱۰. توزیع فراوانی دمای همگن شدگی برای میانبارهای تک فازی مایع در نمونه نمک ساسولیت‌دار گنبد دهکویه



شکل ۱۱. توزیع فراوانی دمای همگن شدگی برای میانبارهای تک فازی مایع در دو نمونه نمک ساسولیت و گلوبریت گنبد دهکویه

جدول ۳. داده‌های میکروترمومتری میانبارهای سیال در نمونه N10 هالیت دارای ساسولیت

Sample				N10							
No.	Name	Type	Size (µm)	Shape	Phases (30°C)	liquid (%)	Tmi (°C)	Tclat (°C)	Th(CO2) (°C)	Th(V? L) (°C)	Host Mineral
1	7942-1	PS	22	Unshape	L+V	60	-0.4	+7.4	29.6	>70	Halite
2	7942-2	PS	18	Unshape	L	100	-0.4			25.3	"
3	7942-3	PS	12	Unshape	V+L	15	-2.4			>70	"
4	7942-4	PS	10	Unshape	L	100	-1.0			24.6	"
5	7942-5	PS	6	Unshape	L+V	95	-2.8			>70	"
6	7942-6	PS	6	Unshape	L+V	95	-3.6			>70	"
7	7942-7	PS	6	Unshape	L+V	95	-4.5			>70	"
8	7942-8	PS	7	Unshape	L	100	-2.4			24.4	"
9	7942-9	PS	8	Unshape	L	100	-2.4			23.7	"
10	7942-10	PS	6	Unshape	L	100	-2.7			57.7	"
11	7942-11	PS	6	Unshape	L	100	-4.5			>70	"
12	7942-12	PS	10	Unshape	L+V	95	-3.5			>70	"

نتیجه‌گیری

در نمونه‌های مورد مطالعه بیش‌ترین میزان سدیم متعلق به نمک بلوری شفاف و بی‌رنگ گنبد کرمستج است. بطور کلی آهن بیش‌ترین تاثیر در تغییر رنگ نمک را در میان عناصر داشته است. این تاثیر بیش‌تر حاصل محلول‌های گرمابی سرشار از آهن است که بر روی تمام سنگ‌های موجود در گنبدهای مورد مطالعه اثر گذاشته است.

کانی‌های گلوبریت با فرمول $Na_2Ca(SO_4)_2$ در نمک زرد، کانی بوردار ساسولیت با فرمول $Br(OH)_3$ در نمک دارای لکه‌های قهوه‌ای و کانی هالیت پوتاسین با فرمول $K_{0.4}Na_{0.6}Cl$ در نمک نارنجی زرد گنبد نمکی دهکویه که برای نخستین بار در گنبدهای نمکی ایران در این منطقه گزارش می‌شود، به عنوان یک شاخص مهم در محیط‌های تصعیدی پیرامون تالاب‌های چشمه‌های داغ در نقاط

مختلف جهان شناسانده شده است. در طول دوره‌های مختلف از تاریخ کره زمین، مانند کامبرین پایینی- پرکامبرین، شوری با توجه به ماگماتیسم گسترده در مناطق وسیعی از هیدروسفر به ویژه در اقیانوس تتیس بطور غیرطبیعی بالا بوده است. احتمالا در زمان و مکان ساخت این نمک‌ها، یون‌های ویژه‌های در ماگما بطور غیرعادی موجود بوده که باعث ساخت نهشته‌های گسترده نمک شده‌اند. برای نمونه همچنان‌که در نهشته‌های معروف نیکل جهان مانند معدن نیکل سادبوری در زمان‌های خاصی در پرکامبرین زیرین ساخته شده که بعدا تکرار نشده‌اند و این می‌تواند ناشی از فراوانی نیکل در این زمان در جبه بوده که تخلیه شده و بعدا نهشته‌های بسیاری از نیکل ساخته نشده‌اند. بنابراین، این نمک‌ها لزوما نتیجه تبخیر آب دریا در طول دوره‌های طولانی از زمان نیستند. تناوب در تخلیه دوره‌ای یون‌های مختلف به وسیله فومارل‌ها، به ویژه کلرید و سولفات باعث تغییرات منطقه‌ای در جنس و نوع تبخیری‌ها در گنبدهای نمکی جنوب شده است. این یون‌ها به ویژه در گودی‌های کف دریا انباشته شده و به مرور باعث ساخت نهشته‌های نمکی- سولفاتی شده‌اند. نقش آب دریا به عنوان محیط واسط در تامین یون‌های مختلف مانند کلر، اکسیژن و بی‌کربنات برای ساخت این نهشته‌ها بوده است. این نظریه می‌تواند برای نمونه نبود نمک (در این پژوهش گنبد پاسخند) را توجیه کند. وقوع فعالیت گسترده ماگمایی به ویژه با توجه به فراوانی سنگ‌های مختلف آذرین و آهن فراوان همراه نمک‌ها، نبود فسیل‌های دریایی، توزیع جغرافیایی خاص گنبدهای نمکی، ساخت نمک در محل ریفت‌های امروزین، حجم عظیم نمک‌ها، شکل ویژه سازندهای نمک بصورت استوک و سیل (بیشتر سازندهای نمکی کنونی شکل لایه‌ای رسوبی نداشته و در نقاط ویژه‌ای که همان محل تغذیه نمک بوده‌اند، ساخته شده‌اند)، حضور گنبدهای نمکی در محل تقاطع گسل‌های عمده، و نتایج حاصل از مطالعه بر روی سیالات درگیر بر روی نمک در این پژوهش نیز تاکیدی بر نقش فعالیت‌های ماگمایی در شکل‌گیری نمک‌های کنونی در گنبدها است. چنانکه در مناطق مهمی چون بازشدگی دریای سرخ ساخت نمک‌های گوناگون با خاستگاه ماگمایی در حال انجام است. همانطور که یادشد شناسایی کانی‌های جدید و مهمی چون ساسولیت و گلوبریت و مطالعات سیال درگیر که نخستین بار در این نوشتار مورد بحث قرار گرفت، می‌تواند با پژوهش‌های تکمیلی‌تر چون ایزوتوپی کلر آغاز مطالعات فراگیرتر در مورد خاستگاه تبخیری‌ها نمک در گنبدهای نمکی باشد.

منابع

[۱] آدابی، م ح (۱۳۹۰) ژئوشیمی رسوبی، انتشارات آرین زمین، ص۵۰۳

[۲] ترشیزیان، ح.ا (۱۳۸۸) تکامل شورابه‌ها و تشکیل کانی‌های تبخیری در پلایای ساغند ایران مرکزی و مقایسهٔ آن با دریاچهٔ بزرگ نمک و حوضهٔ درهٔ مرگ در ایالات متحده، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شمارهٔ ۱ ، ص۴۳ ۵۴

[۳] حلمی، ف (۱۳۷۹) شرحی بر نمک طعام پتاس و پراکندگی آن‌ها در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[۴] منصور،. اعتمادی، ب (۱۳۹۳) یافته‌های جدید درباره نقش مهم فعالیت‌های گرمابی در نهشت ذخائر آهن گنبدهای نمکی لارستان و هرمزگان، سی و سومین گردهمایی علوم زمین.

[۵] نخبه‌الفقهایی، ع (۱۳۹۴) بررسی زمین‌شناسی اقتصادی گنبدهای نمکی دهکویه،کرمستج و پاسخند در منطقه لار بستک، جنوب ایران، رساله دکتری رشته زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد واحد علوم و پژوهشات تهران.

[6] Apollonov V. N (2010) on the role of endogenic sources in the foration of saline rocks, Journal International Geology Review, Vol. 29, 1987 - Issue 11: pp 1322-1326.

[7] Bosak P., Jaros J., Spudil J., Sulovsky P., Vaclavek V (1998) "Salt Plugs in the Eastern Zagros, Iran: Results of Regional Geological Reconnaissance", Geolines (Praha), vol. 7: pp 3- 174.

[8] Becker S.P., Fall A., Bodnar R.J (2008) Synthetic inclusions. XVII. PVTX properties of high salinity H_2O-NaCl solutions (>30 wt % NaCl): Application to fluid inclusions that homogenize by halite disappearance from porphyry copper and other hydrothermal ore deposits", Economic Geology, vol.103: pp539-554.

[9] Ganor J and Katz A (1989) The geochemical evolution of halite structures in hypersaline lakes: The Dead Sea, Israel", Limnol Oceanogr, vol.34 (7):pp 1214-1223.

[10] Hartmann B.H., Ramseyer K., Matter A (2000) Diagenesis and pore-water evolution in Permian sandstones, Gharif Formation,

Sultana of Oman". Journal of Sedimentary Research, vol. 70: pp 533-544.

[11] Heerema S (2009) A magmatic model for the origin of large salt formations", Journal of creation,vol. 23(3): pp 16-118.

[12] Luhr J.F (2008) Primary igneous anhydrite: Progress since its recognition in the 1982 El Chichón trachyandesite, Journal of Volcanology and Geothermal Research vol.175 (4): pp 394–407.

[13] Nelstead K (2013) A young-earth creationist magmatic model for the origin of evaporates, geochristian.wordpress.com, 26.

[14] Li Z.X., Evans D.A.D., Murphy J.B (2016) Supercontinent cycles through earth history through time. Geological society, no 424: pp 297.

[15] Lynch David K. Hudnut Kenneth W., Adams Paul M (2013) Development and growth of recently-exposed fumarole fields near Mullet Island, Imperial County, California. Geomorphology, Vol. 195: pp 27–44.

[16] Momenzadeh, M., Heidary, A (1990) The origin of Hormoz salt formation", Symposium on diapirism with special reference to Iran, vol. 1: pp 109-140.

[17] Sterner S.M., Hall D.L., Bodnar R.J (1988) "Synthetic fluid inclusions V: solubility relations in the system NaCl-KCl-H_2O under vapor-saturated conditions", Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 52: pp 989-1005.

[18] roedder E., Angelo w.m.d., Dorrzapf A.F Jr., Aruscavage P.J (1987) Composition of fluid Inclosions in permian salt beds,Palo duro basin,Texas USA", chemical geology, vol. 61: pp 79-90.

[19] Warren J.K (2006) Evaporites—Sediments, Resources and Hydrocarbons, Springer", Dordrecht, The Netherlands, pp 44.